

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

Obor: Strojírenství

Zaměření: Výrobní systémy

**Vyhodnocení opakovaných měření na 3D měřícím stroji Wenzel
LH 54
(BAKALÁŘSKÉ PRÁCE)**

**Evaluation of repeated measurements on 3D measuring machine
Wenzel LH 54**

KVS – VS – 115

Michal Sobota

Vedoucí práce:

Ing. Petr Keller Ph.D.

Počet stran: 39

Počet příloh: 12

Počet obrázků: 20

Počet tabulek: 6

Počet modelů

nebo jiných příloh: 0

V Liberci

**TÉMA: Vyhodnocení opakovaných měření na 3D měřicím stroji
Wenzel LH 54**

Anotace:

Bakalářská práce pojednává o opakovaných měření stejných součástí na 3D měřicím souřadnicovém stroji Wenzel LH 54. Prozkoumání vlivu jednotlivých ukazatelů na přesnost měření, jako jsou teplota při měření, čistota měřených součástí a měřicích sond a přesnost (kalibrace) měřicích sond. Dalším bodem práce je provádění měření za účelem stanovení způsobilosti procesu a výrobního stroje.

**THEME: Evaluation of repeated measurements on 3D measuring
machine Wenzel LH 54**

Anotation:

The diploma thesis is focused on repeated measurements of the same parts on 3D measuring co-ordinal machine Wenzel LH 54. Exploration of the effect of single indicators on accuracy of measurement, for example, temperature during measurement, cleanness of measured parts, measuring sounds and calibration of measuring sonds. Measurement in order to assesment of the process competence and production machine.

Desetinné třídění:

Klíčová slova: Souřadnicový měřicí stroj, Měření, Přesnost, Vyhodnocování

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů

Dokončeno: 2011

Archivní označení zprávy :

Počet stran: 39

Počet příloh: 12

Počet obrázků: 20

Počet tabulek: 6

Počet modelů

nebo jiných příloh: 0

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Prostřednictvím bakalářské práce bych chtěl velice poděkovat svým blízkým, své přítelkyni, zejména pak svým prarodičům, kteří mi umožnili studovat a při samotném studiu mne velmi podporovali. Dále bych chtěl poděkovat nejbližším přátelům a dalším příbuzným, kteří mi byli taktéž oporou.

Poděkování patří také vedení katedry výrobních systémů, vedoucímu mé bakalářské práce za vedení a rady při psaní bakalářské práce. Opomenout nemohu vstřícný přístup při zpracovávání bakalářské práce ze strany spolupracovníků a vedení podniku Obrobna RESL.

Obsah	strana
1. Cíl práce	8
2. Úvod do problematiky	9
2.1. Souřadnicové měřicí stroje	9
2.2. Příslušenství SMS	11
2.2.1. Snímací hlavice a měřicí doteky	12
2.2.2. Počítačová technika	13
2.3. Požadavky na SMS	14
2.3.1. Zdroje chyb při měření	14
2.2.2. Kontrola přesnosti, kalibrace SMS	14
2.3.3. Chyby a nejistoty měření	15
2.3.4. Kalibrace měřicího doteku a měření s doteky	15
2.4. Způsoby zajišťování správnosti měření	16
2.4.1. Metrologická confirmace	16
3. Seznámení s výrobou a systémem kvality v podniku Obrobna RESL	18
4. Provádění opakovaných měření	23
4.1. Přesnost souřadnicového měřicího stroje	23
4.2. Vliv teploty na měření	23
4.3. Vliv nečistot	25
4.4. Vliv kalibrace měřících doteků	26
4.5. Měření způsobilostí stroje a procesu	27
5. Vyhodnocení výsledků a opatření ke zlepšení stávajícího stavu	32
5.1. Vyhodnocení opakovatelnosti	32
5.2. Vyhodnocení vlivu teploty	33
5.3. Vyhodnocení vlivu nečistot	34
5.4. Vyhodnocení vlivu kalibrace sond	35
5.5. Vyhodnocení způsobilostí	36
6. Závěr a zhodnocení	37
Seznam použité literatury	38
Seznam příloh	39

Seznam použitých zkratk a symbolů

„40“ – typ převodových skříní

„68“ – typ převodových skříní

„70“ – typ převodových skříní

α = součinitel délkové roztažnosti [K^{-1}]

Deckel 251 – výrobek firmy KSM Castings

Federbeinbruecke – výrobek firmy Benteler

k = koeficient závislý na počtu opakovaných měření

l_0 = původní délka [mm]

SATREMA I, II – typ převodové skříně

u_A - nejistota měření typu A

u_B – nejistota měření typu B

u_c – nejistota měření typu C

Wenzel LH 54 – souřadnicový měřicí stroj

1. Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je vyhodnocení vlivů okolních podmínek na přesnost měření a tedy i způsobilost souřadnicového měřicího stroje Wenzel LH 54. Nejprve bude vyhodnocena příslušná opakovatelnost SMS. Dalším bodem je vyhodnocení vlivu teploty okolí i materiálu na výsledky měření. Stejným způsobem dojde ke zjištění nutnosti očišťování měřených součástí a kalibrace měřících doteků. V dalším bodě došlo k měření způsobilostí procesu a výrobního stroje. V bakalářské práci bude seznámeno s postupem tohoto měření. Výsledkem bakalářské práce by mělo být stanovení rozmezí teplot, za kterých je možné měřit s přesností odpovídající tolerančním hodnotám. Posouzení čištění součástí a četnosti kalibrace měřících sond tak, aby co nejmenším způsobem zatěžovaly přesnost SMS. Při zpracování bakalářské práce je třeba brát na zřetel zvyšování efektivity měření a ekonomický přínos vyhodnocených výsledků.

2. Úvod do problematiky

2.1. Souřadnicové měřicí stroje [1, 2]

Souřadnicové měřicí stroje byly vytvořeny hlavně díky svému uplatnění a potřebě pro automobilový průmysl. Základní myšlenkou je potřeba rychlého a velmi přesného měření často složitých výrobků. K vývoji souřadnicových měřicích strojů dochází od 50. let 20. století právě v souvislosti s rozmachem automobilového průmyslu. SMS byly sestaveny za účelem komplexního měření součástí, konkrétně měření rozměrů, tvaru a vzájemné polohy geometrických prvků na součásti. Nabízí se tedy rychlá reakce na změny ve výrobě vedoucí k produkci shodných dílů.

Oproti konvenčním metodám měření je tento způsob nesrovnatelně rychlejší a přesnější. Spolehlivost SMS neustále vzrůstá, naopak dochází ke snižování citlivosti stroje na okolní pracovní podmínky. Princip souřadnicového měření spočívá ve stanovení základního bodu v prostoru včetně poloh dalších bodů na měřené součásti. Tyto body jsou měřeny formou souřadnicových rozměrů ve všech třech osách X, Y, Z. SMS kontroluje výrobky podobným způsobem, jako je NC stroj vyrábí. Pracuje velmi rychle, redukce měřicích časů dosahuje až 80 %, v některých případech i více. Ve spojení s kvalitním počítačem představuje prostředek pro účinné zvyšování a udržování jakosti ve všech druzích výroby.

Kontrola každého obrobku začíná přípravou programu. Měřicí program (ukázka Příloha I) lze vytvořit na počítači v prostředí CAD, aniž by musela obsluha pracovat s 3D strojem. Díky tomu se výrazně šetří čas pro měření výroby. Měřicí program definuje dráhu vybrané měřicí sondy, která doteky se součástí vytváří geometrické útvary, jejich definice a následně body, které jsou nezbytné pro vyhodnocení. Dochází tedy k provedení vlastního měření a vyhodnocení měření.

Existuje několik nepsaných základních pravidel, která by měla platit pro měření pomocí SMS. Kontrolní měření by nemělo trvat déle než samotné obrábění součástí. Přesnost měření SMS musí být vyšší, než je přesnost daných obrobků. Při kontrolní činnosti rozměru výrobku majícího toleranci 0,005 mm, je třeba minimální přesnosti 0,001 mm. Samozřejmostí je potřeba výměnných měřicích sond v automobilovém průmyslu pro svou různorodost výrobků. Příprava programů by se měla uskutečňovat mimo souřadnicový měřicí stroj, čímž dochází

k časovému volnění stroje pro měření. Důležitou součástí je výkonná počítačová technika pro celkovou efektivní kontrolu.

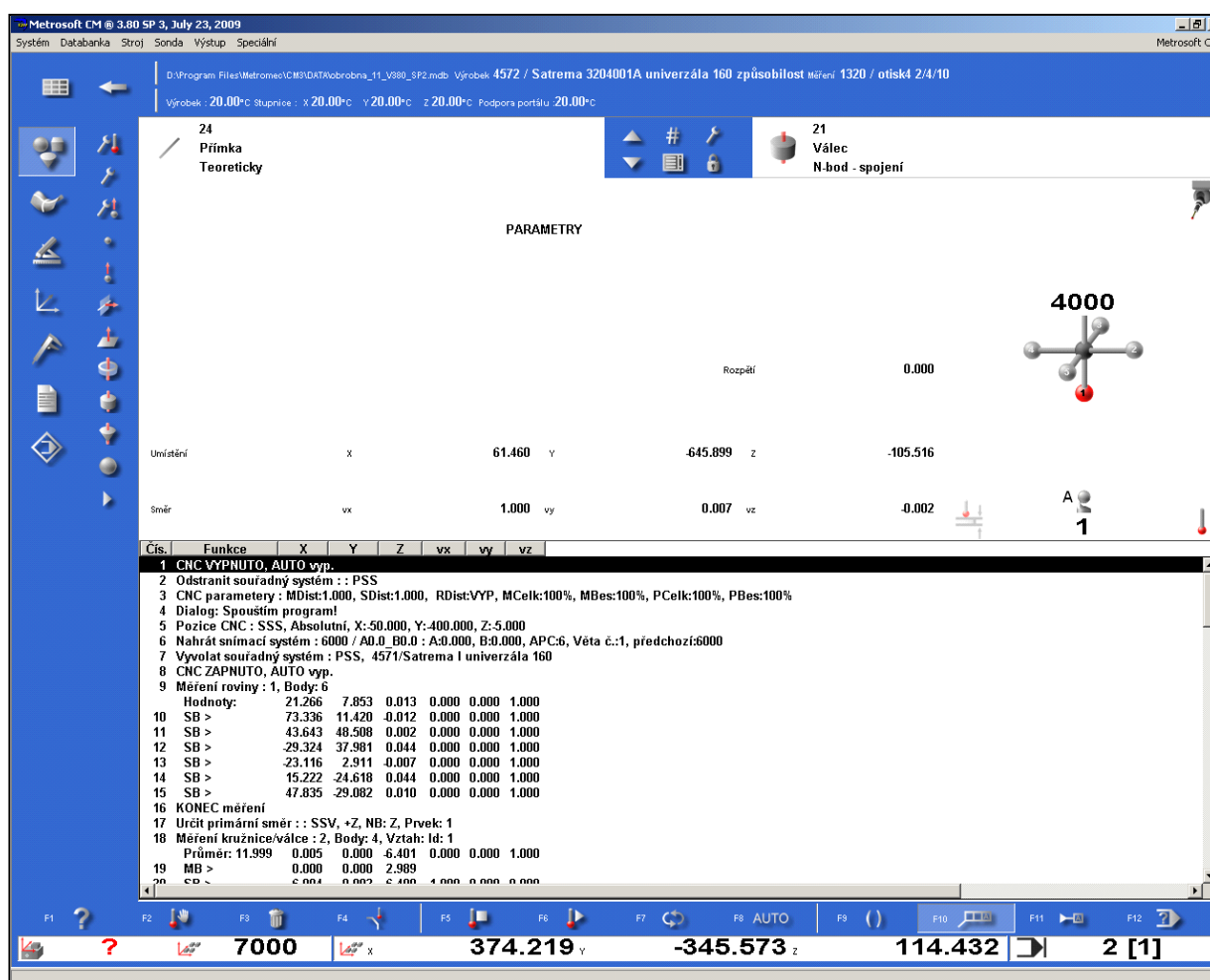
Výstupním dokladem o prováděné kontrole je měřicí protokol (Obrázek 01), který může vypadat následovně. V jeho záhlaví je uvedené číslo kusu, jméno obsluhy, která měření prováděla, dále výrobek, datum a čas měření. Níže vlevo jsou stručně popsány měřené rozměry, následuje ideální rozměr včetně horní a dolní tolerancí. Další sloupec zobrazuje skutečnou hodnotu, tím je myšlen rozměr, který byl právě naměřen. Odchylka udává rozdíl skutečné naměřené hodnoty od hodnoty ideální. Vyhodnocení je udáváno v procentech, případně překročí-li rozměr toleranci, je přidána číselná hodnota nad respektive pod toleranci. Rozpětí udává nepřesnost měření. Poslední sloupec je věnován opatření, kam obsluha, případně seřizovači, vepisují poznámky.

Protokol / kus č. 55 / mso 2 otisk 1		Výrobek: 131 / Satrema I- 3204001A-nový přípravek						Měřeno 12.05.11 3:39:58		
kus C										
Č. st.	Vlastnost	Nom. hodnota	Horní tol.	Dolní tol.	Skut. hodnota	Odchylka	Vyhodnocení	Rozpětí	Opatření	
1	D22±0,01	P 22.000	0.010	-0.010	P 22.002	0.002	17%	-----*	0.015	.....
2	D12J7	P 12.000	0.010	-0.008	P 11.993	-0.007	-91%	*-----	0.004	.....
3	D12-0,02-0,03	P 12.000	-0.020	-0.030	P 11.970	-0.030	-93%	*-----	0.016	.....
4	L41±0,05	r 41.000	0.050	-0.050	r 41.009	r 0.009	18%	-----*	0.011	.....
5	L32,91±0,05	Y -32.910	0.050	-0.050	Y -32.893	Y 0.017	35%	-----*	0.011	.....
6	D22 // A	0.000	t= 0.200		0.106	0.106	53%	-----*	0.011	.....
7	kolmost 12J7 / A	0.000	t= 0.200		0.222	0.222	111%	0.022	0.004	.....
8	kolmost 12 / A	0.000	t= 0.200		0.090	0.090	45%	-----*	0.016	.....
9	L28,5±0,2	r 28.500	0.200	0.000	r 28.589	r 0.089	-11%	-----*	0.000	.....
10	L52±0,2	r 52.000	0.200	-0.200	r 52.002	r 0.002	1%	-----*	0.011	.....
11	L17±0,1	r 17.000	0.100	-0.100	r 17.029	r 0.029	29%	-----*	0.000	.....
17	souosost 22 / 39,75	0.000	t= 0.050		0.012	0.012	24%	-----*	0.015	.....
18	19°±0,1	YZ 19.000	0.100	-0.100	YZ 18.939	YZ -0.061	-61%	*-----	0.000	.....
19	kolmost D22±0,01/D	0.000	t= 0.200		0.093	0.093	47%	-----*	0.006	.....
20	L8±0,1	r 8.000	0.100	-0.100	r 7.986	r -0.014	-14%	-----*	0.004	.....
21	police D39,75	X 0.000	0.018	-0.018	X -0.003	X -0.003	-17%	-----*	0.015	.....
		Y 0.000	0.018	-0.018	Y -0.002	Y -0.002	-11%	-----*		
12	údel D22±0,01	0.000			0.013	0.013			0.015	.....
13	úhel D12-0,02-0,03	XY 90.000			XY 90.049	XY 0.049			0.016	.....
		ZX 90.000			ZX 90.015	ZX 0.015				

Obrázek 01 – Měřicí protokol

2.2. Příslušenství SMS [1]

Souřadnicový měřicí stroj má základní příslušenství ve výbavě. Zákazníkům je umožněno dle přání dokoupit některé komponenty a zkvalitnit tak kontrolní činnost ve svém podniku. Dokoupit lze snímací hlavici společně se sadou doteků včetně zásobníku pro jejich výměnu, ovšem ve většině případů je hlavice se sondami k dostání už v příslušenství při koupi stroje. Kvalitní výbava pro 3D měření by se měla skládat z výkonného počítače se softwarem umožňujícím programování mimo SMS (obrázek 02). Programové vybavení v Obrobně Resl tuto funkci neumožňuje, což přináší značné časové ztráty při potřebě měření aktuální výroby. K tvorbě programů tedy dochází ve směnách, kdy SMS není tolik zatížen.



Obrázek 02 – Softwarové vybavení

Dále je důležitou součástí kvalitní sada doteků pro všechny měřitelné rozměry včetně zásobníku. Nutností je ovládací pult pro komunikaci obsluhy, který bývá většinou přenosný. Tiskárna, případně plotter poslouží k výstupu pro tisk měřicího protokolu nebo výkresů. Součástí vybavy může být zařízení pro ustavení obrobku nebo přípravku k měření.

2.2.1. Snímací hlavice a měřící doteky [1, 8]

V Obrobně Resl je používána snímací hlavice elektrická (obrázek 03). Principem je ustavení doteku v tělese sondy pomocí třech elektricky izolovaných drážek. Měřící dotek je spojen s tělesem sondy kuličkami, které zakončují ramena od doteku. Tyto kuličky zapadají do již zmíněných drážek, které jsou rozmístěné po 120°. Při vychýlení doteku ze své polohy dojde k přerušení elektrického signálu na rameni a sonda vyšle signál.



Obrázek 03 – Snímací hlava

Současně funguje měřící hlava jako víceosý snímač. Umožňuje otáčení o 360° kolem osy nástroje. Používá se hlavně u kontroly vybrání a dutin. Při měření je použita světelná i zvuková signalizace. Obsluha tak rychle zaregistruje jakýkoliv problém například při programovém měření. Motorická hlava umožňuje lepší přístup k měřeným místům a citlivější kontakt. Kromě elektrické snímací hlavy jsou dostupné hlavy mechanické, které představují pevné měřící doteky, měřící zařízení optické a elektronické. Zajímavou variantou je zabudování měřící sondy přímo do obráběcího stroje. Odpadá tak

Měřicí hlavice úzce souvisí s měřicími doteky. Důležitým parametrem je kvalita kuličky doteku. Nižší kvalita doteku má velký vliv na celkovou přesnost stroje, výrobci uvádějí ztrátu až o 15%. Materiálem kuliček bývá nitrid křemíku, oxid zirkoničitý nebo nejpoužívanější rubín. Stopky doteku bývají z oceli, karbidu wolframu, keramiky nebo uhlíkových vláken. 4

Na obrázku 04 je znázorněn měřicí dotek s rubínovou kuličkou a ocelovou stopkou.



Obrázek 04 – Měřicí dotek

2.2.2. Počítačová technika [1]

Nedílnou součástí kvalitního vybavení kontrolního pracoviště je výkonná počítačová technika (obr. 05). Programové vybavení není jednotné, jako tomu bývá u výrobních NC strojů, naopak je rozdílné podle výrobců reagujících na vlastní vývoj programů. Snahou výrobců je v posledních letech zjednodušení programování, což by měla být výhoda zejména pro nekvalifikovanou obsluhu. Obsluha se zabývá tvorbou programů pomocí speciálního programovacího jazyka. Program je sestavován přímo při měření součásti nebo dle výkresové dokumentace.



Obrázek 05 - Počítač

2.3. Požadavky na SMS [1, 3]

Přesnost souřadnicového měřicího stroje vyjadřuje souhrnnou charakteristiku shody údajů ideálních rozměrů s pravými hodnotami měřených parametrů vyjádřených pomocí SMS. Přesnost udává stupeň kvality, kterým se dokáže SMS přiblížit naměřenými hodnotami k hodnotám skutečným. Na přesnost mají vliv dílčí nepřesnosti.

2.3.1. Zdroje chyb při měření [1]

Chyby měření značně ovlivňují přesnost SMS. Je důležité se věnovat jejich zjišťování a eliminaci. Souřadný systém ovlivňuje přesnost deformací stroje, chybami přímosti a kolmosti, třením a vůlí. Dalším zdrojem chyb je snímací systém, který zatěžuje přesnost linearitou, hysterezí, životností a stabilitou nulového bodu. Měřicí dotek je ovlivňován průhybem a chybami tvaru. Opomenout nelze povrch a hmotnost měřené součásti. SMS je zatěžováno také podmínkami okolí. Nejvýraznější vliv má kolísání teploty a vibrace.

2.3.2. Kontrola přesnosti, kalibrace SMS [1, 3, 6]

SMS potřebuje k plnohodnotné činnosti zajišťující kontrolní činnost další podmínky splňující jeho perfektní fungování. Nutnou podmínkou kvalitního fungování jsou dobře vybavené laboratoře s kvalitní klimatizací. Změny teplot nejvíce ovlivňují výsledky měření délek, rozměrů, tvarů a polohy měřených objektů.

Přesnost SMS je zohledňována ve dvou pohledech. Výrobce sleduje především přesnost jednotlivých prvků stroje, naopak uživatele zajímá celková přesnost celého systému. Zkušební metody SMS proto rozdělujeme na dvě oblasti, metody analytické a komplexní.

Při analytických metodách se kontrolují především chyby měřicích systémů v jednotlivých osách, chyby polohování v jednotlivých osách, chyby kolmosti jednotlivých os, odchylky rovinnosti stolu a chyby snímacích systémů. Laserinterferometr je v tomto případě základním měřidlem, které slouží pro kontrolu délky, odchylky přímosti a kolmosti. Ovšem toto měření je časově zdlouhavé.

Komplexními metodami vyšetřujeme celý systém SMS jako celek. Předností je jednoduchost zkoušek. Při kontrolách se používají etalony jako zkušební tělesa. Jako lineární etalony slouží koncové měrky, plošné etalony jsou například desky s koulemi (ballplate) nebo desky s otvory (holeplate), dále existují prostorové a kombinované etalony.

2.3.3. Chyby a nejistoty měření [1, 5]

Chyby a nejistoty se vyskytují u každého měření, ani měření tak dokonalým strojem jako je SMS není výjimkou. Každé měření v pracovním prostoru SMS je tedy zatíženo chybou. Naměřená hodnota tedy není skutečným rozměrem, musí se dopočítat chyba měření. Každou naměřenou hodnotu je nutno korigovat o případnou systematickou chybu, hlavně zohlednit vliv teploty. Teplota v průběhu měření nesmí kolísat více, než je dovoleno pro dosažení požadované přesnosti. Před měřením je nutno zajistit vyrovnaní teplot měřené součásti a měřidla. Velmi důležitou úlohu hraje správná volba počtu měření s ohledem na nejistotu měření a přesnost měřícího zařízení, v našem případě SMS. Pro každé měření je nutno stanovit nejistotu měření U . Nejistoty měření tvoří odhad části měření, který charakterizuje rozmezí hodnot, v němž leží skutečná hodnota měřené veličiny.

Nejistota typu A (1) se získá statistickou analýzou série naměřených hodnot z opakovaných měření stejné veličiny. Je ovlivněna náhodnými vlivy. Nejistotu typu lze vypočítat takto:

$$u_A \equiv s(\bar{y}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n * (n-1)}} \quad (1)$$

Počet opakovaných měření by měl být větší než deset, v opačném případě nelze učinit kvalifikovaný odhad. V případě, že je počet měření menší než deset, používá se korigovaná nejistota u_{Ak} (2).

$$u_{Ak} = k * s(\bar{y}) \quad (2)$$

Hodnota „k“ značí koeficient závislý na počtu opakovaných měření, který je dán dle počtu opakování z tabulky 01.

Tabulka 01 – Hodnota koeficientu „k“

n	9	8	7	6	5	4	3	2
k	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7,0

Standardní nejistota typu B se odhaduje expertním odhadem na základě dostupných informací a zkušenosti. Nejčastěji jsou použity údaje výrobce měřicí techniky, zkušenosti z předchozích měření, zkušenosti s vlastnostmi chování materiálů a techniky a poznatky o nich a podobně.

Posledním typem nejistoty je kombinovaná standardní nejistota typu C (3), která se získá sloučením standardní nejistoty typu A (u_A) s výslednou standardní nejistotou typu B (u_B).

$$u_c(x) = \sqrt{u_A^2(x) + u_B^2(x)} \quad (3)$$

Příklad výpočtu nejistot je znázorněn v příloze IX. Maximální nejistota měření délky souřadnicového stroje je stanovena na kalibračním protokolu, který je přiložen v příloze X.

2.3.4. Kalibrace měřicího doteku a měření s doteky [1]

Kalibrace měřicího doteku je prováděna na kalibrační kouli (obrázek 06), případně na kalibrační krychli. Je možno provést kalibraci všech doteků různých tvarů. Kalibraci je možné spustit pomocí programu. Kalibrovaným dotekem obsluha najede nad kalibrační kouli a spustí kalibraci. Ruční kalibrace je nejjednodušší pomocí nastavovacího kroužku dutinoměru.

Kalibrace doteku představuje vlivný parametr na přesnost měření. Pouze zkalibrovaná a dokonale očištěná sonda představuje nástroj vhodný k měření. Při



Obrázek 06 – Kalibrační koule

samotném měření nastávají jevy ovlivňující výslednou přesnost měření. Necitlivost snímače představuje dráhu, po kterou se kontaktní snímač nerozepne a nevyšle signál do počítače ihned po styku doteku se součástí. V tomto důsledku je výsledný poloměr o několik tisícín milimetru menší než skutečný. Rovněž platí, čím delší dotek, tím vyšší necitlivost. Dalším faktorem je prohnutí doteku, které může dosahovat až tisíciny milimetru. Při ručním měření má nezanedbatelný vliv rychlost a směr snímání. Z těchto

faktů je patrná výhoda krátkých doteků se silným dříkem. Volba by tedy měla padat na doteky o délkách

maximálně do 40 mm, průměry dířku minimálně 2,5 mm.

2.4. Způsoby zajišťování správnosti měření [4]

Měřicí stroje jsou brány za měřidla velice přesná. Málokdo zpochybňuje jejich naměřené veličiny. Rozdíly mezi naměřenými veličinami bývají zanedbatelné, ale často se objeví větší výchyly, které často znehodnotí celé měření a mnohdy i hodinové přípravy práce. Nejen měření, ale i přípravě měřidla je proto třeba věnovat velkou pozornost.

Pro zajištění správnosti měřicích přístrojů a měření existuje několik opatření, mezi které patří kalibrace (viz bod 2.3.4.), metrologická confirmace a také řízení procesu měření.

2.4.1. Metrologická confirmace [4]

Metrologická confirmace dle norem je označována jako soubor činností požadovaných pro zajištění fungování měřidel ve shodě s požadavky na jejich zamýšlené použití. Metrologická confirmace obecně zahrnuje kalibraci a ověřování, jakékoli nezbytné seřízení nebo opravu a následnou rekalibraci. V provozu by měl být zvolen pracovník, který bude odpovídat za měřidla, bude se o ně starat a ponese odpovědnost za to, že je měřidlo ve vyhovujícím stavu. Většinou tím bývá pověřen pracovník z kontrolního pracoviště. Celý systém spojený s měřidly podléhá zkouškám, o kterých se musí vést záznamy. Metrologická confirmace vykazuje určitou stupňovitost, která se liší rozsahem činností a kvalifikací pracovníků vykonávajících jednotlivé úkony. Prvním stupněm metrologické confirmace je zjištění vizuálního stavu měřidla spojené s kvalifikovanou údržbou, opravami a následnou rekalibrací. Prohlídku vykonávají servisní technici výrobce na základě smluvních vztahů. Druhým stupněm confirmace je prohlídka a následné seřízení přístroje. Touto činností bývá zaúkolován operátor měřicího zařízení. Další stupeň představuje metrologická kontrola, tedy kalibrace. Poslední stupeň metrologické confirmace by měl vykonávat operátor měřicího zařízení, na začátku směny by mělo dojít ke kontrole měřicího zařízení. Metrologická confirmace zajišťuje správnost měřicích přístrojů.

3. Seznámení s výrobou a systémem kvality v podniku

Obrobna RESL

Vznik společnosti Obrobna Resl se datuje od roku 2001. Od počátku je zaměřena na obrábění a povrchovou úpravu kovových odlitků. V roce 2009 došlo ke stěhování firmy, společnost přesunula do moderní výrobní haly v průmyslové zóně Liberec – Sever (obázek 07). V současné době se společnost Obrobna Resl právem řadí mezi přední poskytovatele post-slévárenských služeb v celém Libereckém kraji.

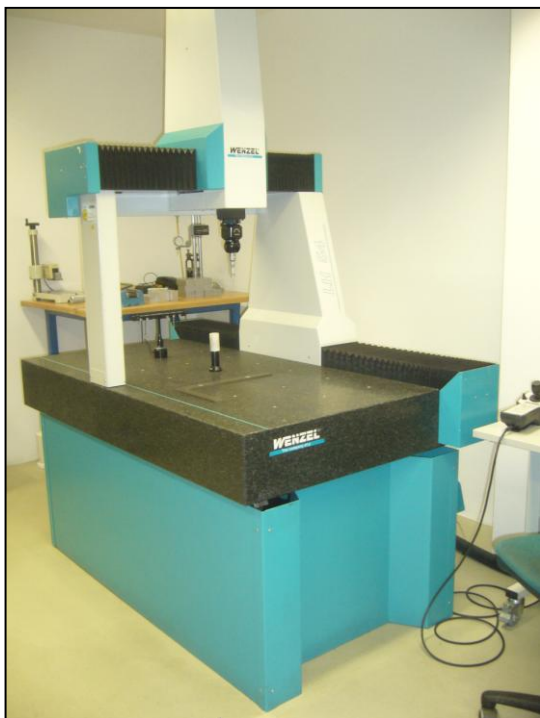


Obrázek 07 - Výrobní hala

Společnost Obrobna RESL má zavedený systém kvality dle normy ISO 9000:2008, která zajišťuje základy a zásady systému managementu jakosti a terminologie systému managementu jakosti. Norma se využívá k vysvětlení používaných termínů v systému managementu jakosti a jejich vzájemných vazeb. Dále tato norma popisuje metodologii stanovení definic jakosti.

Neodmyslitelnou součástí kontroly kvality v podniku provádějícím přesné obrábění pro automobilový průmysl je 3D měřicí stroj včetně plného příslušenství a propracovaný a zejména fungující systém kvality.

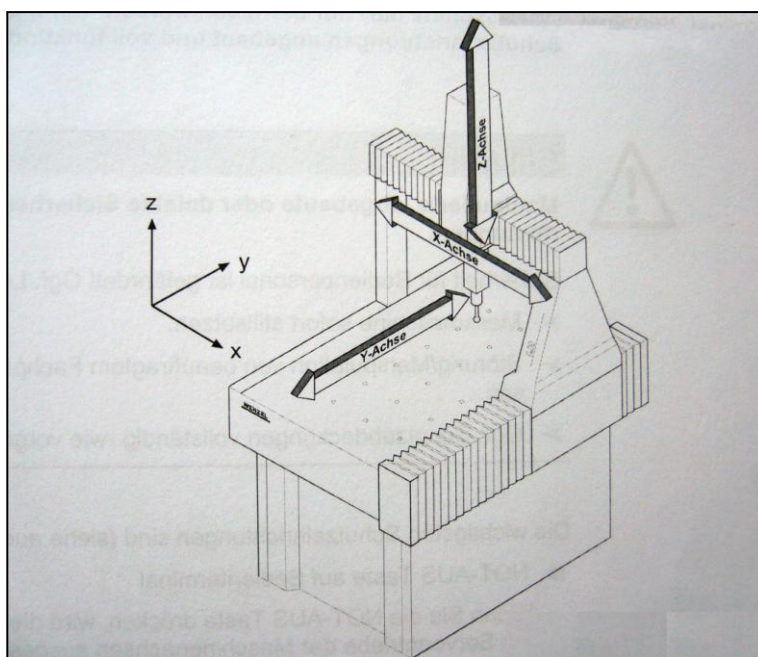
Měření probíhá na 3D souřadnicovém měřícím stroji firmy Wenzel typu LH 54 (obr 08).



Jedná se o mostový typ měřícího stroje. Souřadnicový měřící stroj WENZEL je schopen měřit výrobky s přesností na 0,001 mm. Rozsah měřícího stroje je v osách $x=500$ mm, $y=600$ mm, $z=400$ mm. Maximální přípustná hmotnost výrobku, tedy zatížení měřícího stroje je stanoveno na 200 kg. Veškeré další parametry stroje jsou popsány v příloze II. Souřadný systém měřícího stroje je zobrazen na obrázku 09.





Obrázek 08 – Wenzel LH 54

Obrázek 09 – Souřadný systém měřícího stroje [7]



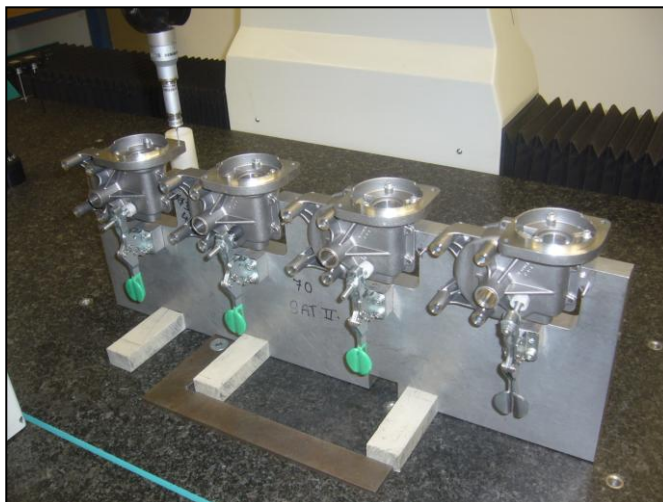
Pro měření je důležitá doporučená stanovená teplota. Okolí souřadnicového měřicího stroje je třeba udržovat na teplotě 22°C.

Součástí stroje je výměnná hlava včetně měřících sond. K dispozici je celkem 6 měřících sond. Tabulka 02 včetně obrázků ukazuje nejvyužívanější měřící sondy včetně jejich parametrů.

Tabulka 02 – Nejvyužívanější měřící sondy			
Foto sondy	Parametry	Foto sondy	Parametry
	<p>Obr. 10:</p> <p>Označení sondy:</p> <p>1</p> <p>Délka:</p> <p>20mm</p> <p>Průměr kuličky:</p> <p>4mm</p>		<p>Obr. 11:</p> <p>Označení sondy:</p> <p>3</p> <p>Délka:</p> <p>50mm</p> <p>Průměr kuličky:</p> <p>1mm</p>
Obr. 10		Obr. 11	
Foto sondy	Parametry	Foto sondy	Parametry
	<p>Obr. 12:</p> <p>Označení sondy:</p> <p>4</p> <p>Délka:</p> <p>20mm</p> <p>Průměr kuličky:</p> <p>1mm</p>		<p>Obr. 13:</p> <p>Označení sondy:</p> <p>6</p> <p>Délka:</p> <p>70mm</p> <p>Průměr kuličky:</p> <p>4mm</p>
Obr. 12		Obr. 13	

Rozmanitost výrobků v podniku je skutečně velká. Vyrábí se několik desítek různých výrobků. Každý obrobek je upnut do přípravku tak, aby nedošlo k žádnému pohybu ve všech osách při samotném měření. Obrobek musí být upnut jednoznačně, jako tomu je na následujícím obrázku 14, kde je zobrazeno upnutí výrobku převodových skříní typu „68“. Stejný přípravek je určen pro upínání

dalších skříní typu „70“ a Satrema II. Přípravek je určen k programovému měření 4 kusů.



Obrázek 14 – Upínací přípravek k měření

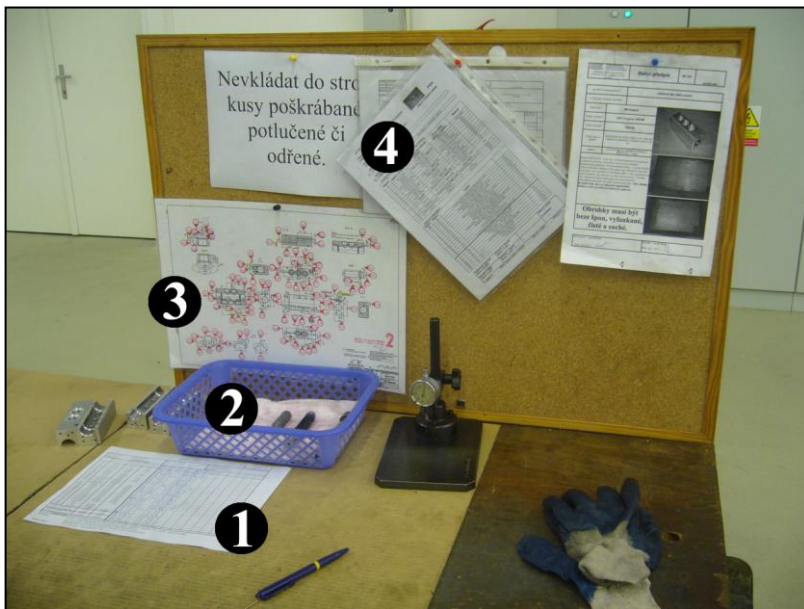
Obrobna Resl se zaměřuje na opracovávání zpravidla hliníkových odlitků. Výrobní proces je zajištěn díky 14-ti vysokorychlostním CNC centrům. Do strojového parku také patří 4 jednoúčelové stroje, vibrační a omýlací linka a důležitou část tvoří kvalitní měřicí centrum. Doplňkovým programem je obrábění odlitků z barevných kovů nebo oceli a řezání hliníkových tyčí.

Součástí technologického vybavení jsou i vibrační bubny určené pro trvalizaci a úpravy povrchu. Rozmístění strojů a pracovišť na výrobní hale lze vyčíst z přílohy III, kde jsou jednotlivé stroje popsány zkratkovým označením a číslem.

Měření je prováděno na obrobcích, které se aktuálně nacházejí ve výrobě. Měří se vždy na začátku směny, dále po přestávce. Tedy každý výrobek je nutno změřit minimálně dvakrát za směnu. Navíc je třeba dbát na měření prvních kusů z nové bedny a při najíždění nového otisku. Rovněž je třeba zvýšené pozornosti měření po kolizi stroje či nástroje, kdy je potřeba stroj opět seřídit. Velkosériové výrobky, které patří mezi časté zakázky, jsou měřeny výhradně pomocí programů na souřadnicovém měřicím stroji. Naopak výrobky v malých sériích jsou měřeny ručně posuvnými měřidly nebo taktéž na 3D stroji, ovšem pomocí ručního měření.

V podniku Obrobna RESL je povinností kontrolorů provádět ruční měření (opět dvakrát za směnu). Každé stanoviště u výrobního stroje je z hlediska kvality

opatřeno měřicími pomůckami, měřícím protokolem a kontrolním plánem (obrázek 15). Důležitý je výrobní výkres s číselným označením jednotlivých kót, které se zapisují do měřícího protokolu. Hledání měřených rozměrů ve výkresu je tak mnohem přehlednější. Obsluha má za úkol měřit výrobu zpravidla každou hodinu, pokud není předepsáno jinak. Velmi důležité rozměry se měří na každém kuse, například po zalisování ložiska do skříně je každý kus zkoušen na kalibr a podobně.



Obr. 15 - Foto pracoviště, měřící pomůcky, kontrolní plán

1-měřící protokol

2-měřidla

3-výkres s pozicemi

4-kontrolní plán

4. Provádění opakovaných měření

Při provádění měření je třeba zohledňovat environmentální podmínky. V praxi se jedná o určité meze, které specifikují za jakých podmínek je měření způsobilé. Tyto podmínky musí být přesně specifikovány jednak výrobcem v případě přijímací zkoušky a uživatelem v případě periodické zkoušky.

Mezi podmínky bezprostředně ovlivňující měření patří teplota, nečistoty na měřícím stroji a měřené součásti, nelze opomenout kalibraci, dále je nutné zohledňovat vlhkost, vibrace a další podmínky. V příloze II jsou přesně popsány podmínky pro měření na stroji Wenzel LH 54.

4.1. Přesnost souřadnicového měřicího stroje

Přesnost SMS není nijak sjednocena pomocí norem ISO ani výrobcí. Odborná literatura představuje přesnost souřadnicových měřících strojů jako poměrně složitou záležitost. Zkušenosti ukazují, že přesnost lze stanovit jako aritmetický průměr aktuálně probíhajících opakovaných měření. Přesností SMS se zabývá norma ISO 10360 stanovující podmínky, kterým musí měřicí stroj vyhovovat.

Téměř všechna měření v této práci jsou založena na opakovatelnosti, což je schopnost měřicího stroje vyhodnocovat při opakovaném měření stejné výsledky. Při měření stejné součásti za stejných environmentálních podmínek by měli být výsledky stejné. Proto bylo provedeno několik měření, která opakovatelnost prověřila. V příloze je zobrazeno vybraných pět měření stejných součástí upnutých do přípravku po čtyřech kusech dostatečně rychle za sebou, aby bylo zamezeno změně okolních podmínek a ztrátě výkonnosti. Výkonnost je vnímána jako čas, kdy stroj měří daný rozměr v mezích přesnosti. Výsledky měření jsou prezentovány v bodě 5.1, protokoly jsou přidány do přílohy IV.

Na výkonnost, stabilitu, přesnost a opakovatelnost měření má vliv kromě konstrukčního provedení zejména chyby a nejistoty měření. Při uvážení všech možných zdrojů chyb, popsaných dříve, se tato práce bude zabývat vlivem okolní teploty, vlivem nečistot a také vlivem kalibrace měřících doteků.

4.2. Vliv teploty na měření

Změny teploty patří mezi ukazatele, které nejvíce ovlivňují výsledky měření délek, rozměrů, tvarů a polohy měřených objektů. Vzhledem k tomuto faktu jsou nutností dobře vybavené laboratoře s kvalitní klimatizací.

Bylo provedeno několik měření stejných součástí za různých klimatických podmínek. Změna teploty byla nastavena na klimatizaci vzhledem k aktuální okolní teplotě. Nejprve byla součást důkladně očištěna, aby se snížil vliv nečistot na prováděné měření. Ve stejném duchu byly měřící sondy kalibrovány. Po ustálení teploty došlo k naměření součástí. Teplota byla snižována pozvolna, vždy po 0,25°C. První měření bylo provedeno za teploty 24°C. Výsledky měření jsou zobrazeny v bodě 5.2. Protokoly o měření jsou v příloze V.

Teplota okolí úzce souvisí s teplotou materiálu a tedy roztažností materiálu. Při měření se nejčastěji vyhodnocují délkové rozměry, proto je pro nás aktuální teplotní délková roztažnost. V následujícím výpočtu byla zjištěna změna teploty materiálu výrobku potřebná ke změně délky o jednu tisícinu milimetru. Nejdelší součást pravidelné výroby měří 208 mm. Do vzorce pro délkovou roztažnost (4) jsou tedy dosazeny následující hodnoty:

Délka: $l = 208,001 \text{ [mm]}$

Původní délka: $l_o = 208 \text{ [mm]}$

Součinitel délkové teplotní roztažnosti: $\alpha = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ [K}^{-1}\text{]}$

$$l = l_o + \alpha \cdot l_o \cdot \Delta T \quad (4)$$

$$\Rightarrow \frac{l - l_o}{\alpha \cdot l_o} = \Delta T \quad \Rightarrow \quad \Delta T = \frac{208,001 - 208}{2,4 \cdot 10^{-5} \cdot 208} = \underline{\underline{0,21 \text{ [K]}}}$$

Výsledná hodnota ΔT je uvedena v jednotkách [K], pro rozdíl teplot lze dosadit jednotky [°C]. K tomu, aby se změnil rozměr měření o 0,001 mm, stačí změnit teplotu materiálu o 0,21 °C. Stejný význam nese také objemová roztažnost, kterou je také třeba brát v úvahu. Rozdíl teplot nabývá významu zejména v letních a zimních měsících, kdy jsou rozdíly teplot materiálu znatelné.

4.3. Vliv nečistot

Nečistoty zásadním způsobem ovlivňují výsledky měření. Bylo provedeno několik měření zaznamenávající význam čištění jednotlivých součástí před vlastním měřením. V podniku Obrobna Resl dochází k měření minimálně dvakrát za směnu. K prvnímu očištění dochází přímo u stroje, kdy operátor odjehlí daný kus, pokud je to zapsáno v technologickém postupu a zbaví díl nečistot pomocí proudu vzduchu. Takto připraven kus je následně odnesen na kontrolní pracoviště, kde dochází k samotnému měření. K dalšímu měření vzhledem k časovým důvodům nedochází. Účelem souboru těchto měření je zjištění do jaké míry je třeba věnovat se důkladnému očištění měřených ploch, nebo zda-li stačí pro měření prvotní očištění operátorem stroje.

Postup měření byl následující. Kus byl odebrán od stroje po prvotním očištění. Před samotným měřením došlo ke kalibraci sond, jejich očištění a k přesnému stanovení okolní teploty měřicího prostředí na 22°C. Následně došlo k měření součásti. První náměry definují součást po očištění u stroje. Poté byla součást důkladně očištěna. Všechny měřitelné plochy byly ošetřeny hadříkem. Očištění samotné součásti se liší od její složitosti a četnosti měřených rozměrů. V průměru lze stanovit dobu očištění jednoho kusu výrobku na půl minuty až jednu minutu. Při četnosti výroby je i tento na první pohled zanedbatelný čas zanedbatelnou zátěží.

Výsledky měření součástí jsou prezentovány v bodě 5.3., protokoly v příloze VI.

4.4. Vliv kalibrace měřících doteků

Kalibrace měřících doteků je na kontrolním pracovišti prováděna zpravidla jednou za 14 dní. Podmínkou je kalibrování čtyř nejčastěji používaných sond, tedy sondy číslo 1, 3, 4 a 6 (viz bod 3.1. – měřící sondy). V případě měřících sond 1, 3 a 4 postačí jako výstup dostatečně správné kalibrace rozpětí do výše 0,002 mm. Sonda pod označením číslo 6 se liší od ostatních vzhledem ke své délce dříku. V tomto případě postačí výsledné rozpětí do 0,005 mm včetně. Příčinou tohoto rozdílu je necitlivost snímače a průhyb doteku. Necitlivost snímače lze definovat jako dráhu uběhnutí sondy, kdy nevyšle signál, přičemž se již dotkla s povrchem měřeného materiálu. Měřící sondy svou délkou dříku do 40 mm a podstatně větší tuhostí zabraňují většímu průhybu. Naopak u sondy 6 je otázky průhybu na místě. Tyto vlastnosti jsou ovlivňovány rychlostí měření. Při programovém měření lze nastavit rychlost měření, stačí zadat hodnotu do počítače. Při ručním měření je rychlost závislá na šikovnosti obsluhy, což je zpravidla věcí cviku.

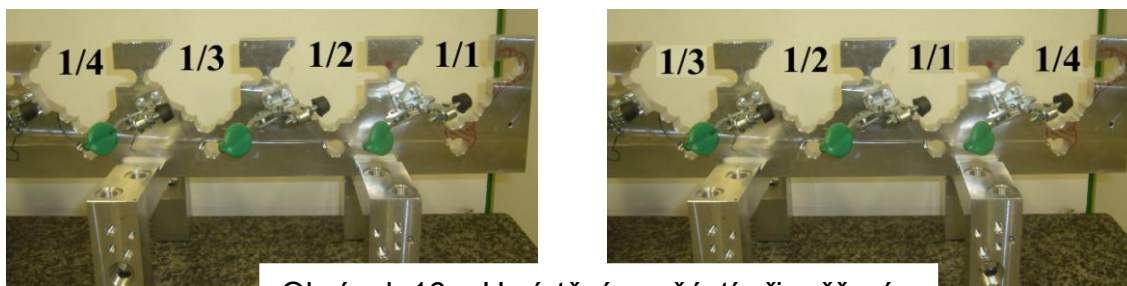
Při měření se vychází z faktu, že ke kalibraci dochází po čtrnácti dnech. Proto došlo k měření v běžné situaci před datem kalibrace. Následně byly sondy kalibrovány a součást byla naměřena znovu. Sondy byly během kalibrace taktéž očištěny ručně. Výsledky měření jsou zobrazeny v bodě 5.4., vybraná měření v příloze VII.

4.5. Měření způsobilostí stroje a procesu

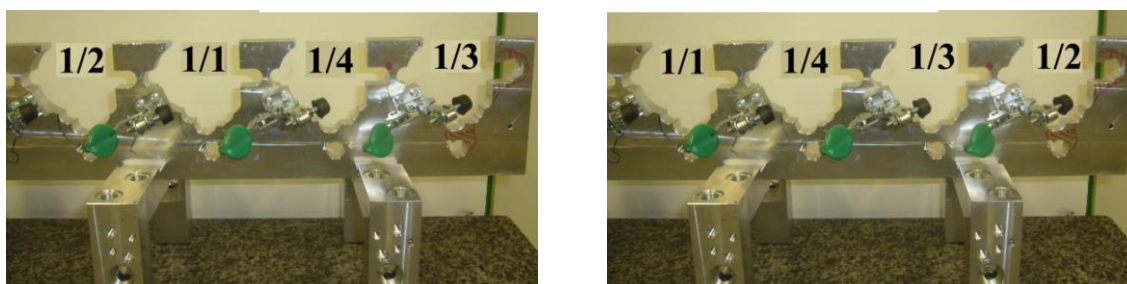
Při seřizování strojů na výrobek SATREMA I (č. v. 32040001A) a II (52550010) a při opakovaných měření byly zjištěny poměrně velké odchylky v řádech až 0,1 mm. Následně byly provedeny způsobilosti měřícího přípravku, výrobního stroje a procesu.

Při výrobě na stroji Chiron 6 pod označením číslo 6 byla provedena výroba 80 kusů výrobku Satrema II. Nejprve byl stroj seřízen na střed tolerance. Poté bylo vyrobeno ihned po sobě jdoucích 80 kusů. Tímto počtem a zároveň faktem, že jednotlivě měřené kusy jsou vyráběny za sebou, dojde k eliminaci nepříznivých faktorů ovlivňujících výrobu i měření výrobku. Dochází k idealizování měření. Mezi nepříznivé vlivy patří vliv pracovníka, materiálu, vliv stroje ve smyslu změny parametrů, dále vliv prostředí a samotného měření. Vliv pracovníka se sníží počtem 80 kusů, přičemž za tuto dobu se nezmění jeho pozornost. Vliv materiálu je vyrušen jeho maximální homogenitou, prostředí se za dobu výroby i měření nestihne dostatečně změnit (prostředím rozumíme teplotu, tlak a podobně). Vliv měření je minimalizován prováděním jednoho člověka jedním měřidlem. Stroj nestihne změnit své parametry takovým způsobem, aby došlo k ovlivnění otáček a dalších nastavitelných vlastností.

Nejprve bylo provedeno měření za účelem zjištění způsobilosti přípravku k měření. Čtyři kusy výrobku byly změřeny pokaždé na jiné pozici přípravku (viz obr. 16).

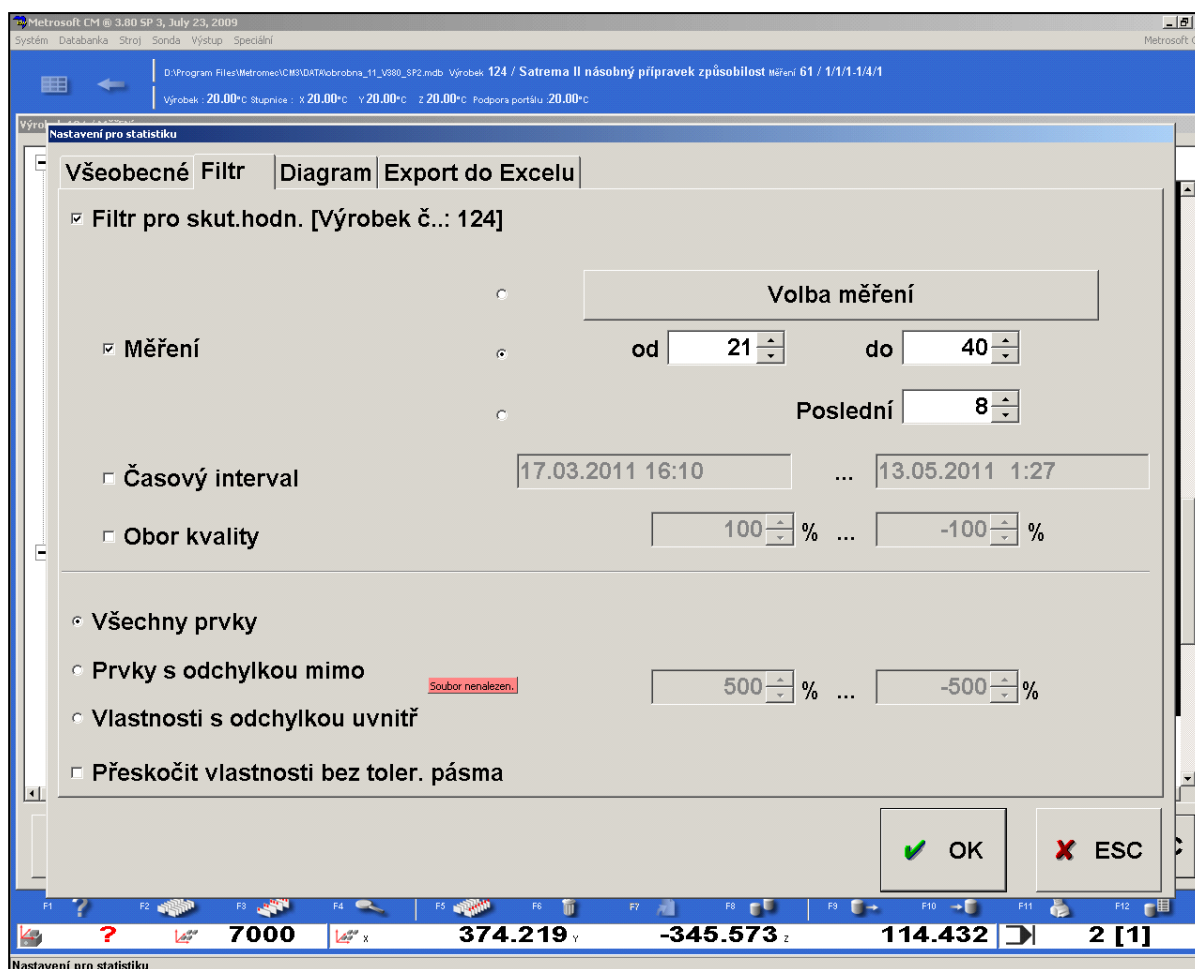


Obrázek 16 – Umístění součástí při měření



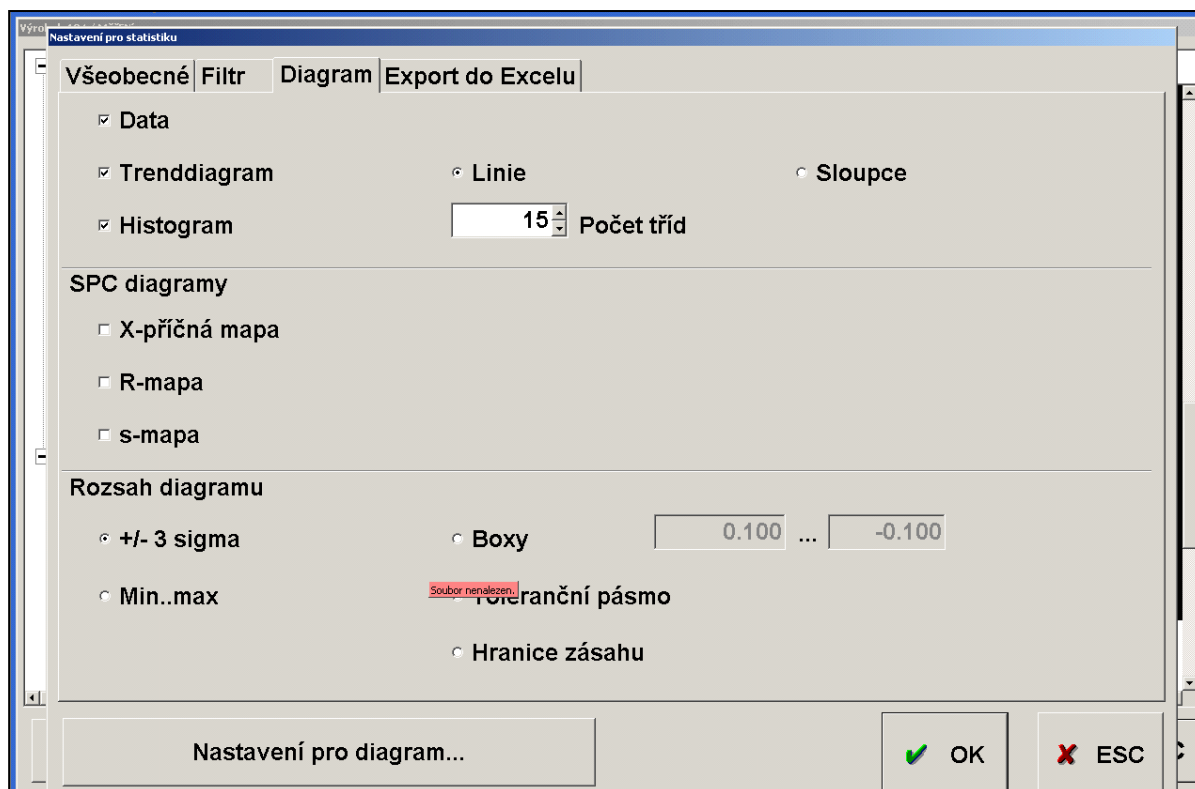
Následně bylo naměřeno 80 kusů vzorků. Každý kus byl popsán číslem stolu, pozicí a číslem otočky (celkem 10). Při samotném měření byly kusy zapisovány v pořadí: číslo otisku/stůl/pozice/otočka.

Po naměření je třeba zjistit histogram a další hodnoty pro provedení způsobilosti procesu a stroje. Tyto hodnoty jsou dány programově ve funkci Statistika. V příslušném softwaru lze zadat požadované vlastnosti.



Obrázek 17 – Volba parametrů

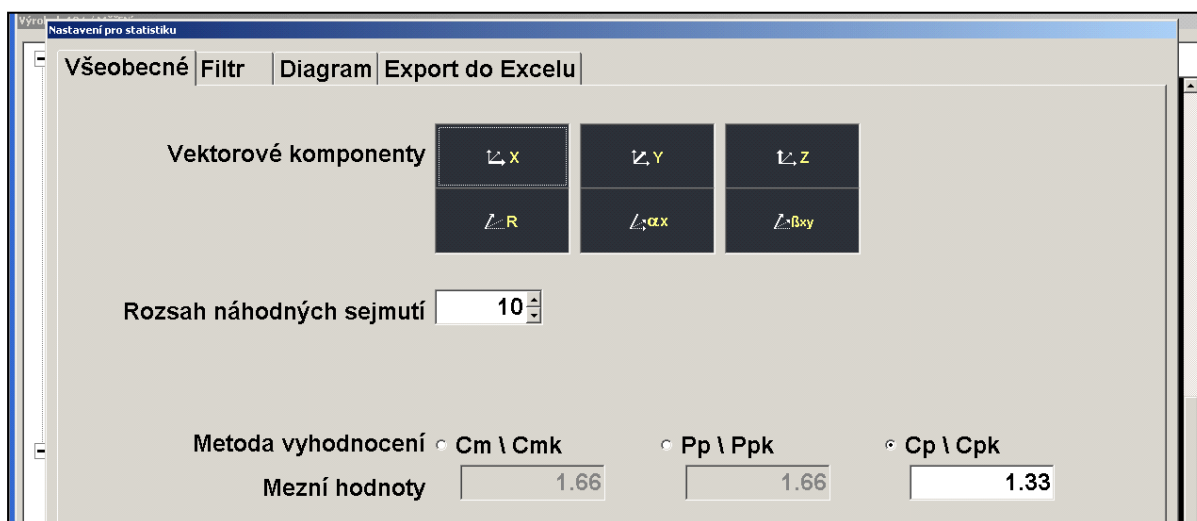
Na obrázku 17 je znázorněna volba následujících parametrů. Lze definovat pouze určitá měření, jejich rozpětí nebo počet posledních měření. Časový interval udává dobu, po kterou byla prováděna měření, jež se budou vyhodnocovat. Zajímavou volbou je obor kvality, který vybere pouze měření odpovídající rozmezí kvality.



Obrázek 18 – Volba vyhodnocení

Další výběr se věnuje vyhodnocení (obrázek 18). Lze zvolit zobrazení histogramu, trenddiagramu a dat. Rovněž lze vyhodnotit SPC diagramy. Rozsah diagramu nám postačí $\pm 3\sigma$.

Poslední výběr se věnuje zejména volbě metody vyhodnocení (obrázek 19). Cm značí schopnost stroje, Cp schopnost procesu a Pp předběžnou schopnost procesu.



Obrázek 19 – Volba metody

Vyhodnocení je znázorněno na obrázku 20, které platí pro jeden měřený rozměr. V horní části je zobrazen výsledek zvolené metody Cp, tedy způsobilosti procesu. Níže vlevo se nachází trenddiagram pro danou hodnotu ze všech měření, v tomto konkrétním případě se jedná o 20 měření. Jednotlivé body ukazují přesnou hodnotu na aktuálním naměřeném výrobku na ose y, na ose x jsou vynesena čísla měření. Histogram nacházející se vlevo dole lze označit dle jeho průběhu za stabilní. Vpravo je zobrazen popis výrobku, vyhodnocovaná vzdálenost včetně tolerancí. Níže jsou zobrazena statistická data, například střední hodnota, střední odchylka a podobně. Způsobilost procesu Cp udává 2,05, což je hodnota ideální. Cpk je hodnota skutečná vypovídající o aktuální dosažené záruce za kvalitu. Mezní hodnota, kdy je proces způsobilý se uvádí okolo 1,33. Proces je tedy pro tento rozměr způsobilý.

Obrázek 20 – Vyhodnocení



Totožné vyhodnocení bylo provedeno pro všechny důležité měřitelné rozměry. Stejným způsobem bylo provedeno vyhodnocení způsobilosti stroje. Měření způsobilosti přípravku bylo vyhodnoceno pouze porovnáním naměřených hodnot stejného kusu z různých pozic. Vyhodnocení těchto měření je zobrazeno v bodě 5.5, výstupy vyhodnocení jsou přiloženy v příloze VIII.

5. Vyhodnocení výsledků a opatření ke zlepšení stávajícího stavu

5.1. Vyhodnocení opakovatelnosti

Tabulka 03 – Vyhodnocení opakovatelnosti						
Rozměr [mm]	Měření č. 1	Měření č. 2	Měření č. 3	Měření č. 4	Měření č. 5	Rozptyl
D22^{±0,01}	22,001	22,001	22,001	22,002	22,002	0,001
D12J7	11,993	11,993	11,993	11,993	11,993	0,000
D12^{-0,02/-0,03}	11,970	11,970	11,970	11,970	11,971	0,001
L41^{±0,05}	41,009	41,008	41,008	41,009	41,009	0,001
L32,91^{±0,05}	32,895	32,894	32,894	32,893	32,893	0,002
L28,5^{+0,2}	28,589	28,589	28,588	28,589	28,589	0,001
L52^{±0,2}	52,000	51,999	51,999	52,002	52,003	0,004
L17^{±0,1}	17,029	17,029	17,028	17,029	17,029	0,001
L8^{±0,1}	7,987	7,987	7,987	7,986	7,987	0,001

Celkem bylo provedeno 10 měření po pěti a více cyklech, tedy 50 měření, které vyjadřují opakovatelnost stroje. V tabulce 03 jsou vybrány a zobrazeny hlavní délkové rozměry z jednoho měření po pěti cyklech na výrobku Satrema I (č. v. 32040001A). V tabulce jsou rozměry prvních součástí na přípravku. Ostatní naměry zbylých součástí na přípravku jsou přiloženy v příloze. Jak je znázorněno na pravé straně tabulky, maximální odchylka měřených rozměrů je 0,004 mm, což je pro splnění podmínky opakovatelnosti dostačující. V ostatních měření byly odchylky u délkových rozměrů maximálně 0,005 mm. Opakovatelnost souřadnicového stroje Wenzel LH 54 je tedy vyhovující. Všechny uvedené rozměry v tabulce jsou v milimetrech. Pro názornost výpočtu nejistot jsou nejistoty měření pro opakovatelnost dopočítány v příloze IX.

5.2. Vyhodnocení vlivu teploty

Tabulka 04 – Vyhodnocení vlivu teploty					
Rozměr [mm]	24 °C	23 °C	22,5 °C	22 °C	21,5 °C
103	45,301	45,299	45,293	45,291	45,286
104	38,487	38,490	38,485	38,485	38,484
108	37,911	37,913	37,907	37,904	37,899
110	25,139	25,148	25,136	25,135	25,146
112	20,431	20,427	20,423	20,421	20,420
113	13,463	13,468	13,462	13,461	13,450
114	47,405	47,405	47,397	47,394	47,385

Od ledna do současnosti byly vysledovány teploty, ve kterých probíhají měření na pracovišti kontroly. Teplota v místnosti se pohybuje od 21°C do 24°C. Vybrané měření se týká výrobku Deckel 251 (č. v. 06E.121.161.AN). Postupně byla teplota při měření snižována. Výsledky měření jsou zobrazeny v tabulce 04. Vlevo je zapsáno pouze číselné označení měřeného rozměru, rozměr je dohledatelný v příloze V, kde je měření přiloženo. Z tabulky je patrné, že s klesající teplotou okolí se rozměry zmenšují, což odpovídá předpokladu délkové roztažnosti, kdy při změně teploty materiálu o 0,2 °C by se měl délkový rozměr změnit o 0,001 mm. Naopak se vzrůstající teplotou se materiál roztahuje a rozměry nabývají na svých hodnotách. Výjimku tvoří měření při teplotě 24 °C, kdy jsou hodnoty menší, než při nižší teplotě. V zimních a letních měsících hrají teploty materiálu významnější roli. Proto je třeba před samotným měřením ustálit teplotu materiálu na hodnotu přibližně od 21°C do 23°C. Opatření je navrženo v následující podobě. Před měřením výrobků je nutné přizpůsobit teplotu materiálu teplotě na kontrolním pracovišti. V závislosti na teplotě v hale a ve skladu je třeba materiál ponechat na kontrole minimálně 15 minut, než se teplota ustálí.

5.3. Vyhodnocení vlivu nečistot

Tabulka 05 – Vyhodnocení vlivu nečistot							
	Součást 1		Součást 2		Součást 3		
Rozměr [mm]	Měření č. 1	Měření č. 2	Měření č. 1	Měření č. 2	Měření č. 1	Měření č. 2	Maximální rozptyl
L35^{±0,05}	35,080	35,077	35,017	35,016	35,070	35,074	0,004
D14H7	14,003	13,999	14,007	14,008	14,002	13,997	0,005
D21,93^{±0,01}	21,927	21,926	21,930	21,931	21,926	21,926	0,001
Rovnoběžnost D14H7	0,012	0,012	0,015	0,016	0,019	0,020	0,001
L18^{±0,1}	18,010	18,011	18,016	18,017	18,018	18,018	0,001
L3^{±0,15}	3,001	3,000	2,981	2,980	2,987	2,985	0,002
L38,4^{±0,1}	38,364	38,359	38,259	38,261	38,319	38,316	0,005
D56h10	55,916	55,923	55,903	55,903	55,906	55,905	0,007

Celkem bylo provedeno 18 měření, které se zabývají vlivem nečistot. Zde jsou zobrazeny výsledky tří měření skříní typu „70“ (č. v. 5365070). Měření č. 1 je prováděno bez očištění, měření č. 2 je po očištění. Z výsledků je patrné, že rozdíly před a po očištění součástí činí v maximálním případě 0,007 mm. Při uvážení tolerančních polí jednotlivých rozměrů lze říci, že rozdíl naměřených hodnot nedosahuje ani čtvrtiny tolerančních polí. V ostatních případech měření byly údaje shodné nebo velmi podobné. Jinak tomu je u přesnějších rozměrů, kdy je toleranční pole menší, například $\pm 0,005$ mm, tedy 0,01 mm. V tomto případě stačí, aby byl rozměr ve skutečnosti na středu tolerance, přičemž bez očištění dojde k naměření hodnoty na kraji tolerance. Rozdíl tedy již není zanedbatelný.

Navrhovaným opatřením je následující. V případě skříní typu „40“, „68“ a „70“ postačí prvotní ofoukání u stroje. Naopak u výrobků Deckel 251, Satrema I,

Federbeinbruecke, IMI 448 je třeba se věnovat očištění na kontrolním pracovišti speciálními hadříky určených pro tento účel. Současně s očištěním výrobku je třeba očistit také měřicí sondu, aby nedocházelo k přenosu nečistot na kuličky doteku z nečištěných součástí.

5.4. Vyhodnocení vlivu kalibrace sond

Tabulka 05 – Vyhodnocení vlivu kalibrace měřících doteků							
	Součást 1		Součást 2		Součást 3		
Rozměr [mm]	Měření č. 1	Měření č. 2	Měření č. 1	Měření č. 2	Měření č. 1	Měření č. 2	Maximální rozptyl
L35^{±0,05}	34,997	35,000	35,010	35,007	35,008	35,006	0,003
D14H7	14,011	14,007	14,013	14,010	14,011	14,008	0,004
D21,93^{±0,01}	21,932	21,932	21,930	21,929	21,936	21,933	0,003
L18^{±0,1}	18,049	18,050	18,039	18,043	18,077	18,078	0,004
L3^{±0,15}	2,974	2,971	2,978	2,977	2,969	2,965	0,004
L38,4^{±0,1}	38,332	38,330	38,387	38,382	38,287	38,280	0,007
D56h10	55,938	55,940	55,918	55,921	55,934	55,937	0,003

Měření dokumentující vliv kalibrace měřících sond bylo provedeno na několika výrobcích. Po vyhodnocení výsledků byly jako vzorové vybrány měření na výrobku skříní „70“ (č. v. 5365070). Měření č. 1 udává střední hodnotu rozměrů před kalibrací a měření č. 2 zobrazuje střední hodnoty příslušných rozměrů po kalibraci. Na stejné součásti bylo provedeno pět měření, jedna část je uvedena v příloze VII. Před tímto měřením byla kalibrace provedena naposledy před 14 dny. Z výsledků je zřetelné, že rozdíly se pohybují do 0,01 mm. S přihlédnutím k tolerančním polím lze kalibrování měřících doteků ponechat beze změn.

Doporučením může být kalibrace doteků minimálně jednou týdně, ovšem bez výrazného vlivu na zlepšení přesnosti rozměrů.

5.5. Vyhodnocení způsobilostí

Měření způsobilostí odhalilo v několika případech nižší způsobilosti než je definovaná mezní hodnota 1,33. Způsobilost měření na přípravku ukázala větší rozdíly v kolmostech, proto byl ve spolupráci s oddělením technologie navržen nový upínací přípravek pro měření. Navržené zlepšení způsobilosti stroje bylo spjato s upínacím přípravkem ve stroji, kde rovněž došlo k výrobě nového přípravku.

6. Závěr a zhodnocení

Proces měření na souřadnicovém měřicím stroji je poměrně složitý. Způsobnost stroje k opakovanému měření byla zjištěna pomocí stanovení opakovatelnosti. Bylo provedeno několik měření stejných součástí bezprostředně za sebou. Stroj byl shledán jako vyhovující pro další měření. Následně bylo věnováno pozornosti vlivu teploty prostředí a teploty materiálu na měření. Výsledkem je doporučení ponechání měřeného materiálu alespoň na 15 minut na kontrolním pracovišti před začátkem měření kvůli srovnání teplot. Dalším bodem práce je zohlednění nečistot. Součásti s větším tolerančním polem mohou být ponechány bez dalšího očišťování, ovšem menší toleranční pole vyžaduje další očištění na kontrolním pracovišti včetně očištění měřicích doteků. Vyhodnocení vlivu kalibrace měřicích sond udává nedostatečný vliv na přesnost měření, tudíž je současný stav v tomto ohledu vyhovující. Při měření výrobků došlo k rozborům jednotlivých programů a měřicích bodů. Snižování nebo jakákoliv úprava těchto bodů by vedla ke snížení sledování kvality měřených rozměrů, tudíž byly programy ponechány bez úpravy. Samotná příprava měření a optimalizace s cílem zvýšení přesnosti měření nese ekonomický přínos. Zvýšením přesnosti bude předejito chybnému vyhodnocování výsledků a následně předávání pokynů seřizovačům stroje. Těmito chybnými kroky lze snadno nastavit výrobu neshodných dílů a tím zbytečnou výrobu nesoucí ekonomické ztráty. Po vyhodnocení všech měření lze stanovit stroj jako způsobilý z hlediska uvažovaných okolních vlivů.

Seznam použité literatury

- [1] Pokorný P., Souřadnicové měřicí stroje. Technická univerzita v Liberci, Liberec, 1998. ISBN 80-7083-326-2
- [2] Prezentace Souřadnicové měřicí stroje, Ing. Pavel Macháček. Dostupné z: http://u12134.fsid.cvut.cz/podklady/PMTR/01_prednaska_PMTR_Souradnicove_merici_stroje.pps
- [3] Tichá Š., Strojírenská metrologie část 1. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Dostupné z: <http://www.fs.vsb.cz/books/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>
- [4] Machač J., Jakeš B., Otázky správnosti měření v praxi II: Zajišťování správnosti měření a interpretace výsledků. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33917
- [5] Cézová E., Metrologie v praxi. Dostupné z: <http://www.statapol.cz/request/request2006/sbornik/cezova.pdf>
- [6] Ing. Beránek L., Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů. Dostupné z: http://u12134.fsid.cvut.cz/podklady/PMTR/Prejimaci_a_periodicke_zkousky_CMM.pdf
- [7] Návod k používání SMS Wenzel LH 54, Technický popis stroje 2001, firma Wenzel.
- [8] Kapesní průvodce, Vysvětlení snímacích technologií souřadnicových měřicích strojů. Dostupné z: <http://resources.renishaw.com/details/Kapesni%20pruvodce%20+Vysvetleni%20snimacich%20technologi%C3%ADsou%C5%99adnicov%C3%BDch+m%C4%9B%C5%99ic%C3%ADch+stroj%C5%AF%2818558%29>

Seznam příloh

Příloha I – Ukázka měřicího programu

Příloha II – Parametry SMS Wenzel LH 54

Příloha III – Rozmístění strojů a pracovišť

Příloha IV – Měření opakovatelnosti

Příloha V - Měření vlivu teploty

Příloha VI - Měření vlivu nečistot

Příloha VII – Měření vlivu kalibrace měřících sond

Příloha VIII – Ukázka vyhodnocení způsobilosti

Příloha IX - Nejistoty měření pro výsledky opakovatelnosti

Příloha X – Protokol o zkoušce CMM